

## 赤外線リモコン送受信器を題材にした 組み込みプログラム用電子教材の開発（２）

玉真昭男<sup>†</sup>

近年、組み込みプログラムの不足が深刻な問題となっている。組み込みプログラマ育成のため、本学でも組み込みプログラム実験をカリキュラムに加えている。今回、以前開発した赤外線リモコン送受信器製作用電子教材を発展させ、使用マイコンの高性能化、学習リモコンプログラムの高度化とネットワーク対応を行ったので発表する。赤外線リモコンの仕組みが学べるだけでなく、ハンダ付けやオシロスコープの使い方がマスター出来る総合教材になっている。

### Development of New Electronic Study Materials for Built-in-System Programming Education Based on Infra-Red Remote-Control Transceiver (2)

TERUO TAMAMA<sup>†</sup>

Recently programmers for built-in-systems are badly off. Thus, fostering of those human resources at universities is urgent. New electronic study materials using a higher-level micro-computer have been developed for built-in-system programming education based on an IR remote-control transceiver. Using those materials, students are able to learn microcomputer programming as well as soldering technique and oscilloscope operation.

#### 1. はじめに

マイコンはデジタル家電、携帯電話、自動車などに数多く組み込まれているが、近年、マイコンを動かすプログラムを開発できる組み込みプログラマの不足が深刻な問題となっており、その育成が急務となっている。本学コンピュータシステム学科では、それを受けて2010年度より「コンピュータシステム実験」の中で15週×3コマを掛けて集中的に組み込みプログラムを教えることにした。

著者は通信系を担当し、赤外線リモコン送受信器の制御プログラム作成をメインテーマとした<sup>1)</sup>。赤外線リモコン送受信器を教材にした「組み込みプログラム」教育は他所では行われていない。しかし、単にマイコンプログラムの演習になるだけでなく、ハンダ付けやオシロスコープの操作法を必然的にじっくりと学習することにもなるので、組み込みプログラム教材として好適と考えている。

今回、マイコンをH8-Tiny 300Hシリーズから、新しい高性能な「GR-SAKURA (RX63N) BOARD」に変え、また新たに「完全万能学習リモコン」を製作する実験項目を追加して、高度な組み込み実験用電子教材を開発したので報告する。

#### 2. 使用マイコン

ルネサスエレクトロニクス(株)製 16ビットマイコン H8/300H Tiny シリーズ3687Fを、より高性能な同社32ビットマイコンRX63N シリーズR5F583Nを搭載したGR-SAKURA-FULLボードに変更した。

GR-SAKURA-FULL は(株)若松通商がルネサス社と共同で開発した学習教材用マイコンボードである。GR-SAKURA-FULL ボードの主な仕様を表1に示す。また、本ボードの写真を図1に示す。

表1 GR-SAKURA-FULL ボードの主な仕様  
Table 1 Main Specs of GR-SAKURA-FULL Board.

ルネサス製 RX63N マイコン (R5F563NBDDFP) 搭載
動作電圧 : 3.3V
動作周波数 : 96MHz
Flash メモリ : 1MB
RAM : 128KB
FPU 内蔵 (float)
イーサネットコントローラ内蔵
USB ホスト/ファンクション内蔵
デジタル I/O ピン : 51
アナログ入力ピン : 6

<sup>†</sup>静岡理科大学

Shizuoka Institute of Science & Technology



図1 使用したGR-SAKURA-FULL ボード  
Figure 1 Photo of GR-SAKURA-FULL Board.

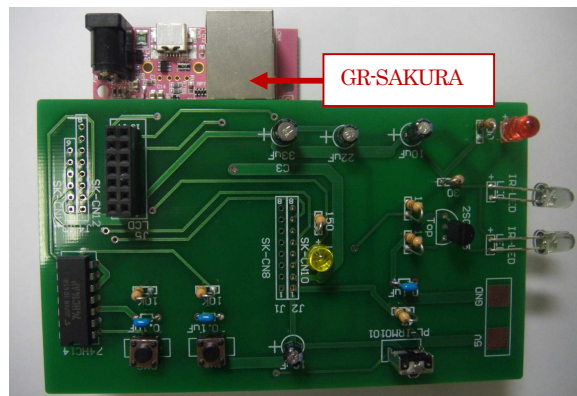


図3 使用したマイコンボードと結合  
Figure 3 Combination of IR-Transceiver Board and GR-SAKURA Board.

### 3. 実験環境の整備

#### 3. 1 ハンダ付けの指導

本実験では、試作した赤外線リモコン送受信器のペアボードを学生に組み立てさせる。ハンダ付け未経験の学生に部品点数 26、総ピン数 100 のプリント基板一個のハンダ付けを 2 人一組でやらせて時間内に完成させさせるには、最初にコツを教え、また丁寧なマニュアルを用意するのが大切と考えた。

自作したプリント基板に 26 点の部品をハンダ付けして組み立てた赤外線リモコンボードの写真を図 2 に示す。また、図 3 は、GR-SAKURA ボードと結合した様子を示したものである。

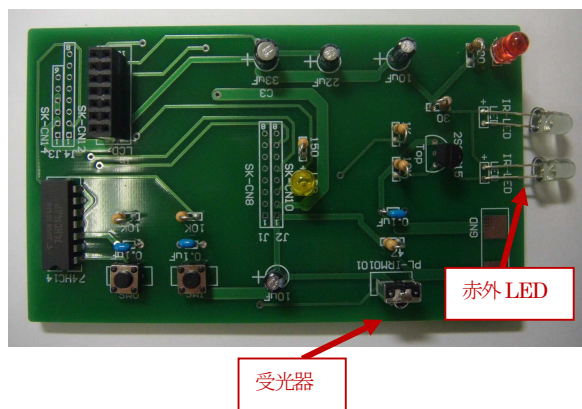


図2 試作赤外線リモコン送受信器ボード  
Figure 2 Test Fabricated IR-Transceiver Board.

ハンダ付けは未経験の学生がほとんどであったため、丁寧な手順書を作って渡した。その甲斐あって、初年度、次年度とも受講生全員 (30, 25 名) がミス無くハンダ付けを完成させることが出来た。

実験前は、ハンダ付け未経験の学生にはこのレベルのボードの組立でも荷が重く、「面倒くさい」、「嫌だ」という感想を予想していた。しかし、実験後は、「非常に面白かった」、「モノを作っている実感があり、楽しかった」という意見がほとんどで、むしろ驚いた。

実験後のアンケートに次の項目を入れた。

【①】ハンダ付けのコツは理解出来ましたか？

【②】部品点数 26、総ピン数 100 の赤外線リモコン送受信器のハンダ付けは面白かったですか？

平均値は 5 段階評価でそれぞれ 4.4、4.0 と高かった。

ハンダ付けをきちんと教えておくことは、将来卒業研究で組み込みシステムをテーマにすると非常に役に立つ。市販の機材だけでは機能や性能が足りないとき、抵抗無く、他の回路を追加しようという気になるからである。

#### 3. 2 オシロスコープの操作法指導

電子計測器類をほとんど触ったことの無い情報学科の学生達にオシロスコープの詳細な使い方を教えるのは厄介である。しかも、赤外線リモコンの波形を計測するためには、繰り返し現象ではなく、単発現象の計測が出来、しかもパルス幅を正確に測定できなければならない。そのため、オシロスコープの操作方法に関しても丁寧なマニュアルを用意した。なお、実験で使用したのはアジレント・テクノロジー社の DS01002A (60MHz, 2 チャンネル) である。

##### 3. 2. 1 基本設定

オシロスコープは時間的に変化する電子信号(電圧波形)を計測するための装置であり、これを使用するためには次の 3 つの設定をする必要がある。

- 垂直軸(電圧レベル)設定、水平軸(時間単位)設定、トリガー設定(波形をどこで捕えるか)



図4 オシロスコープ画面  
Figure 4 Oscilloscope Display.

### 3. 2. 2 単発波形の測定

マイコンの動作波形は1度しか発生しない信号がほとんどである。このときはSingleモードで測定する。小型TV用リモコンの信号を受信器で受けると、ボタン1(CH1)の場合、図5のような波形が観測される。

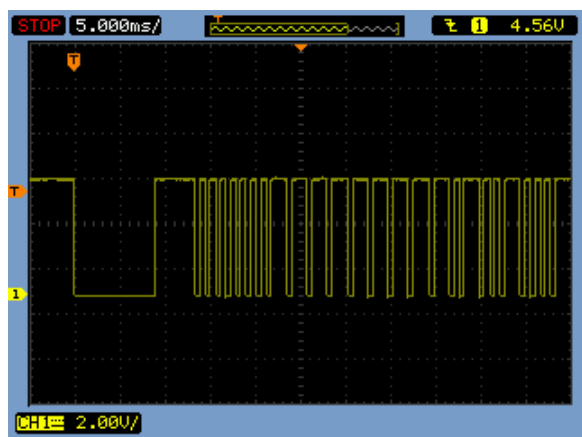


図5 CH1のNEC送信フォーマット

Figure 5 NEC-Type Transmission Waveform Format of Channel 1.

4. 2節で述べる「赤外線リモコン送信機プログラム」のベースプログラムの場合では、最初に図5のような波形が観測される。

この課題では、プログラムをいじりながら、この波形のパルス幅を何度も何度も測定することになる。完成まで、少なくとも数時間は「クラウドWebコンパイラ」を使ったプログラムの変更・ビルドと、オシロスコープを使った単発波形計測、パルス幅測定と格闘することになる。クラウドWebコンパイラ、マイコンプログラミング環境HEW4(High-Performance Embedded Workshop 4)とオシロスコープという、3つのツールの使い方がいつの間にか身に付く課題になっている。

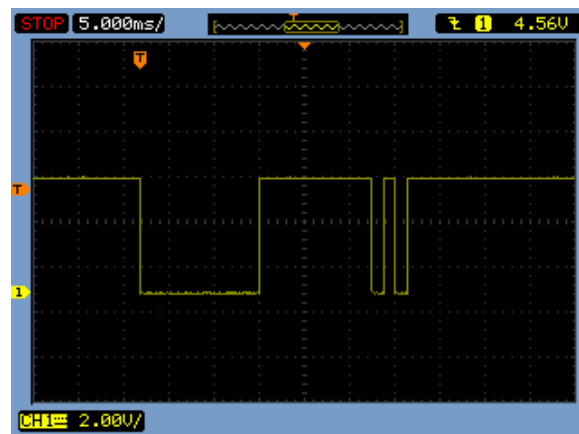


図6 サンプルプログラムの出力波形  
Figure 6 Output Waveform of A Sample Program.

## 4. 赤外線リモコン送受信器

### 4. 1 赤外線リモコンのデータ・フォーマット

よく使われている赤外線リモコンのデータ・フォーマットはNEC送信フォーマットと家電製品協会フォーマットである。本実験では赤外線リモコンの例としてAVOX社の7型ポータブルTV用リモコンを採用した(図7)。TV本体が小型軽量で持ち運びに便利なので実験向きであること、価格が安いこと、などがその理由である。



図7 7型ポータブルTV (AVOX社)  
Figure 7 A 7-inch Portable TV (AVOX).

このTVはNEC送信フォーマットを使用しているもので、これについて説明する。図7のように、リーダー部とデータ部からなる<sup>2)</sup>。データ部はカスタムコードとデータコードから構成されている。前者は会社ごとに違った番号を使用している。後者は、制御対象機器がTVならチャンネル番号などになる。

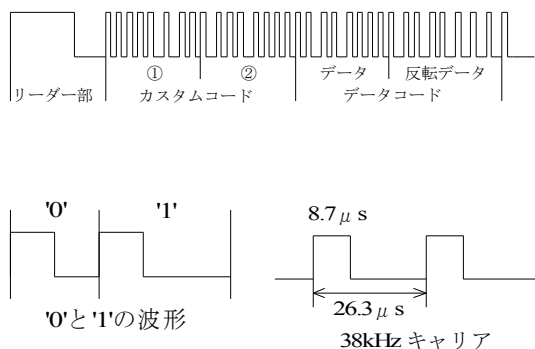


図8 NEC送信フォーマット

(図5, 6は受光器を通した波形のため上下反転)

Figure 8 NEC-Type Transmission Waveform Formats.

(In Figures 5 and 6, Waveforms are Upside-down, since They are Measured by an Receiver.)

赤外線リモコンは38kHzで変調された光パルスを赤外線LEDから発することで通信している。この38kHzで変調された光パルスはキャリアと呼ばれるが、消費電力を抑えるため、図のようにデューティ比は1:3に設定されている。

本機の場合、リーダー部はHigh Level 9ms, Low Level 4.5msとなっており、High Level 時間中は38kHzのキャリアが送出される。

データ部は2進数0, 1の組合せで構成されており、図のようにパルス'0'と'1'は次のようなHigh Level (キャリアON)、Low Level (キャリアOFF) 時間の組合せとなっている。

パルス'0' : High 0.56ms Low 0.56ms  
(計1.12ms)

パルス'1' : High 0.56ms Low 1.69ms  
(計2.25ms)

3. 2節で示した図5は、本機のリモコンでCH1を送った時のオシロスコープ波形(長いために全ビットは表示されていない)である。この写真からデータ部を解析すると次のようになっていることが分かる。

カスタムコード: 0000 0001 1111 1111

データコード: 1000 0000 0111 1111+0

(16ビット+ストップビット)

データコードは、チャンネル番号1(10進値)を2進数8ビットで表したものをLSB→MSBの順に並べたもの、及びその反転データになっていることが分かる。他のチャンネル制御信号も将にこのルールになっていることが分かった。

#### 4. 2 赤外線リモコン送信機のプログラミング

「がじえっとルネサス」の公式サイト<sup>3)</sup>で「クラウドWebコンパイラ」のページにログインし、新規プロジェクトを作成する<sup>4)</sup>。CPUをGR-SAKURAに設定する。実験資料の1つとして用意したベースプログラムを参照してgr\_sketch.cppのプログラムを入力し、改良して行く。

プログラムのポイントは、

- (1) 38kHzのキャリアパルス波形はマイコンのタイマー(TMR)割込みを用いて生成する。
- (2) リーダー部やパルス'0'、'1'の波形は、ダミーループによりwait時間を発生させ、その長さにより生成する。

完成後、そのプログラムをビルド、実行する。

- ・ オシロスコープと赤外線受信機の準備
  - 上のプログラムが正しく出来ていれば、スイッチSW0を押したとき、リーダー部のような波形がオシロスコープで観測される。
  - その後ろに、'0'の波形とストップビットも入れてある。但し、パルス幅は仮の値。
  - 関数 RederCode()内の待ち時間発生用繰返しルーチン(for文)を修正して、赤外線リモコンのリーダー部と同じ波形が出るように調整する。
  - 関数 Send\_0()の中の待ち時間発生用繰返しルーチン(for文)を修正して、'0'の波形が正しく出力されるようにする。
  - 関数 Send\_0()になったら、関数 Send\_1()の中にコードを追加し、'1'の波形が正しく出力されるようにする。
- ・ オシロスコープで読み取った「7インチTVリモコン」のボタン1の波形に従って、カスタムコード、データコードを例外処理関数 Excep\_TMR1\_CMIA1(void)の中に追加する。
- ・ 例えば、カスタムコードは00000001・・・、データコードは1000・・・とする

これらの波形が正しく生成されれば、スイッチSW0を押したときにTVのチャンネルが1に変わる。同様に、CH2、CH3、・・・の波形も作り、TVのチャンネルが正しく切り替われば、赤外線リモコン送信器が完成したことが分かる。

#### 4. 3 考察

実験では、この小型TV用赤外線リモコンのパルス幅の許容範囲はどのようにになっているかを検討させた。リーダー部やカスタムコード、データコードを表す論理値'0'、'1'のパルス幅の基準値は4.1で示すようになっている。これからどれだけズレても認識されるかを調べさせた。その結果の代表的な値を表2に示す。

パルス幅の許容範囲はかなり広めに取ってあることが分かった。'1'のHighのパルス幅に至っては、基準値0.56msに対し、許容値は実に0.32~2.00ms(-42.9%~+257%)にもなっている。

表2 本リモコンで認識されるパルス幅の許容範囲

Table 2 Acceptable Region of Each Pulse Width.

	パルス幅(ms)	
	High	Low
リーダー部	9.0 (0.52~11.5) (-94.2%~+28%)	4.5 (4.12~5.08) (-8.0%~+13%)
'0'	0.56 (0.42~1.62) (-25%~+189%)	0.56 (0.22~0.68) (-60.8%~+21%)
'1'	0.56 (0.32~2.00) (-42.9%~+257%)	1.69 (0.60~2.60) (-64.5%~+54%)

## 5. 万能学習リモコンのプログラミング

### 5. 1 小型液晶TVの赤外線リモコン

NECフォーマットの赤外線リモコンの送信コードを本ボードの受光器(図2)で受け、その波形を自動認識し、同じ信号波形を発生させる「学習リモコン」を作る。

#### ◎プログラミングのポイント

- ・ タイマー(TMR)割込みを使い、 $0.1ms=100\mu s$ ごとに受光器からの入力信号(PDR6)をチェックする。
  - OnTimer()関数を使用
- ・ リーダー部では、Low Levelが約90回(9.0ms)続き、次にHigh Levelが約45回(4.5ms)続くはず。
  - $100\mu s$ ごとにLow LevelとHigh Levelの連続回数を数え、それぞれ85回以上、44回以上続いたら、リーダー部が来たと判定
- ・ カスタムコード部、データ部でも、 $100\mu s$ ごとにLow LevelとHigh Levelの連続回数を数え、ビットコードの判定を行う。

#### ◎使用法

- スイッチSW0 →パラメータリセット
- リモコンのLEDをIrCOMボードの受光器に向け、どれかのCHボタンを押す。
- 赤外線LEDをTVに向け、スイッチSW1を押す。
  - ◇ これでチャンネルが正しく変われば完成

### 5. 2 大型液晶TVの赤外線リモコン

ここでは、Panasonic社の液晶テレビTH-P42ST3(図9)を取り上げた。このリモコンでは家電製品協会フォーマットが使われている。



図9 使用した大型液晶TVとそのリモコン

Figure 9 A Big Liquid Crystal TV and its Remote-Controller.

赤外線リモコンを使用する家電製品が増えたことに伴い、一部の家電製品が誤動作を生ずる可能性が指摘され、今後の普及拡大に伴う製品相互間の誤動作を未然に防ぐために、一般財団法人家電製品協会の家電製品協会フォーマットが作られた。このフォーマットはNECフォーマットと同じく、リーダーコード、カスタムコード、データコードで構成されるが、ビット長が異なり、カスタムコード、データコードはそれぞれ24ビットとNECフォーマットより長い。データコードを長く設定することでより多くの機能をボタンひとつで呼び出すことができている。

図10にCH1を押したときの出力波形を記す(長いため全ビットは表示されていない)。

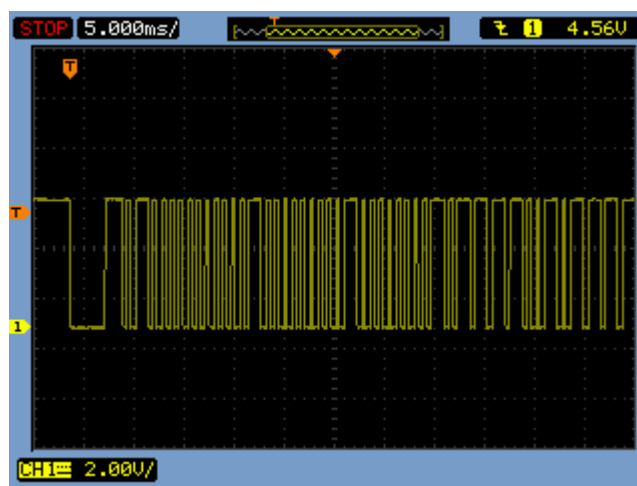


図10 CH1の出力波形

Figure 10 Output Waveform of Channel 1.

リーダーコード、及び論理値'0'、'1'のそれぞれのパルス幅を表3に記す。



表3 パルス幅の計測結果

Table 3 Measured Values of Pulse Widths.

	パルス幅 (ms)	
	High	Low
リーダー部	3.48	1.72
‘0’	0.44	0.44
‘1’	0.44	1.30

リーダー部では、Low Level が約 34 回、次に High Level が約 16 回続くはずである。

- 100  $\mu$ s ごとに Low Level と High Level の連続回数を数え、それぞれ 32 回以上、15 回以上続いたら、リーダー部が来た と判定する。

データ部でも 100  $\mu$ s ごとに Low Level と High Level の連続回数を数え、ビットコードの判定を行う。

### 5. 3 掃除ロボットの赤外線リモコン

ここでは、掃除ロボットの例として、(株)マミロボット・ジャパンの MamiRobot KF-501 (図 11) を取り上げた。図 12 は、その赤外線リモコンの「前進」ボタンの波形である。



図 11 使用した掃除ロボットとそのリモコン

Figure 11 A Vacuum Cleaning Robot and its Remote Controller.

リーダー部と 24 ビットからなるデータコードで構成されており、本機は独自フォーマットを用いていることが分かる。リーダー部のパルス幅は Low Level が 6.8ms、High Level が 3.0ms であった。

- 100  $\mu$ s ごとに Low Level と High Level の連続回数を数え、それぞれ 65 回以上、28 回以上続いたら、リーダー部が来た と判定する。

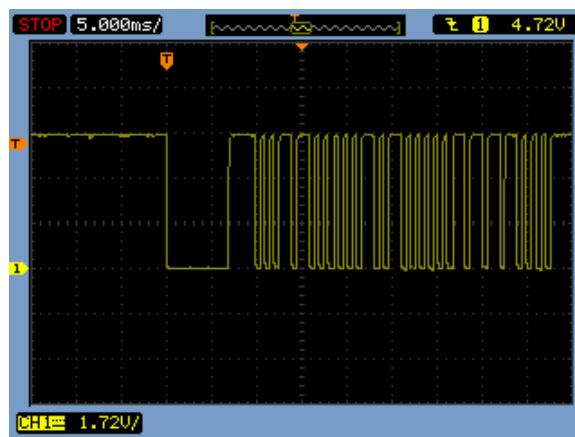


図 12 「前進」ボタンのリモコン波形

Figure 12 Remote Controller Waveform of "Forward."

### 5. 4 学習リモコンの製作

これら 3 種の家電製品は、製造会社も形態も赤外線リモコンのフォーマットも異なるが、全てリーダー部を持っており、そのパルス幅が異なるため、リーダー部を検知した段階で場合分けが可能である。それに対応して、カスタムコード/データコードの認識を行い、同じ波形を生成・出力出来れば万能学習リモコンが完成する。

前回の実験教材では、これを最終課題としていた。

### 6. 完全万能学習リモコンへの拡張

前節の学習リモコンは、送信波形をオシロスコープで確認し、波形フォーマットの特徴を理解した上で、それに対応した判定処理をプログラムに付け加えることでどのリモコンかの認識を行うものであった。

しかし、その後、更にいろいろな赤外線リモコンの波形を調べて行くうちに、前もって解析していない、未知のリモコンでも波形を認識し、同じ波形を出力できる方法があることに気が付いた。考え方を以下に述べる。

新たに対象としたリモコンは次の 3 機種である。

- ① DVD レコーダー Panasonic 社 NV-VP30 用
- ② 二足歩行ロボット Hitec 社 ROBONOVA 用
- ③ MD プレーヤー Panasonic 社 RX-MDX61 用

これらの波形の特徴を表 3 に示す。前の 3 機種+このデータから分かる通り、少なくとも日本で使われているほとんどの赤外線リモコンの波形は 0.4~10.0ms の幅のパルスの組合せで作られていると仮定して良い、と考えることが出来る。

従って、未知のリモコンにも対応する、完全万能リモコンを作るヒントとして、次の手順が考えられる。

- (1) 受信波形は High と Low のパルス約 100 個以下からなる。
- (2) 受信波形を 0.1ms (もしくは 0.05ms) 間隔でサンプリングし、それぞれの High と Low のパルス幅を High が連続した個数、Low が連続した個数として記録する。例えば、High と Low が 9ms、

4. 5ms だった場合はそれぞれ 90, 45 として記録。
- (3) 大きさ 200 の整数配列を用意し、上の個数を順次この配列に記録する。
- (4) 送信波形は、この配列の値に従って High と Low のパルスを生成していく。

表 4 新 3 機種種の赤外線リモコン波形

Table 4 IR-Remote Controller Pulse Widths of 3 New Devices.

リモコン	フォーマット	波形	パルス幅 (ms)		ビット数
			High	Low	
①	家電協	リーダー部	3.6	1.6	24+24 =48
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	1.1	
②	独自	リーダー部	5.0	1.0	6+6 =12
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	0.8	
③	家電協	リーダー部	3.6	1.6	24+24 =48
		'0'	0.6	0.4	
		'1'	0.6	1.1	

この手順をヒントとして提示するだけで、完全万能リモコンの製作が比較的簡単な演習問題になることが分かったので、これを実験最後の課題とする。

## 7. まとめ

前回報告した赤外線リモコン送受信器を題材にした組込みプログラム用電子教材を更に発展させ、新しい高度なマイコンを使用した教材に変えただけで無く、学生がより興味を持つと考えられる「完全万能学習リモコン」を製作できる組込み教材を開発した。

本教材は、身の回りで多く用いられている赤外線リモコンの原理やそのための組み込みマイコンのプログラムを学ぶことが出来るだけでなく、ハンダ付けやオシロスコープの操作法を必然的にじっくりと学習することにもなるので、「組込みプログラム」教材として好適であると考えている。

進度の速い受講者は、機器の形態もフォーマットも問わない、未知の赤外線リモコンの波形を自動認識し、同じ波形を出力してそれぞれの機器をコントロール出来る「完全万能リモコン」の作り方を学ぶことが出来る。ますます挑戦しがいのある教材に仕上がったと考えている。

今回使用した GR-SAKURA-FULL ボードはイーサネットコントローラを内蔵しているので、通信機能を利用し、スマートフォン等からメールを送って自宅の家電製品をコントロール出来る、通信機能付き学習リモコンの開発が今後の課題である。

例えば、自宅のエアコンのリモコン波形を学習させる。帰宅途中でスマートフォンから制御メールを送ると、自宅のエアコンの電源を帰宅前に遠隔操作でオンにすることが出来る、と言った使い方が可能になる。

## 参考文献

- 1) 松下, 山内, 玉真: 第 10 回情報学ワークショップ 2012(WiNF2012), ISSN1884-3387, B1-2, 2012.
- 2) <http://www5b.biglobe.ne.jp/~YAUSI/gallery/electronics/041219/041219.htm>
- 3) <http://japan.renesas.com/gr>.
- 4) 倉内 誠: 「GR-SAKURA ではじめる電子工作」, 工学社, 2013.